



# Kern- und Teilchenphysik

---

Reiner Krücken (Experiment)

Peter Ring (Theorie)



# Kern- und Teilchenphysik

---

## 1. Einführung

### 1.1. Vorbemerkungen



# Lehrstuhl E12

---

- Hadronische Materie unter extremen Bedingungen
  - Struktur und Dynamik von exotischen Kernen
    - Grenzen der Existenz von Kernen
    - Experimente mit radioaktiven Ionenstrahlen
    - Neue Phänomene
  - In-Medium Modifikationen von Hadronen
    - Hadroneneigenschaften in heißer, dichter Kernmaterie
  - Anwendungen kernphysikalischer Methoden
    - Reparatur von DNA Schäden in Zellkernen nach Ionenstrahlbeschuss
  - Entwicklung neuartiger Detektoren
    - Hochsegmentierte Germaniumdetektoren für Kernphysik und Imaging
    - Diamantdetektoren

Wir suchen immer Werkstudenten !!



# Fortgeschrittenenpraktikum III und IV

---

**Vorbesprechung und Einteilung  
der Versuche**

**Heute !!**

**Dienstag, 19. Oktober 2004  
um 16.15 Uhr**

**Hörsaal 2**



# Studentenseminar (Di. 17:00 )

---

## Exotische Kerne und die starke Wechselwirkung

Prof. R. Krücken	TUM
Prof. P. Ring	TUM
Prof. D. Habs	LMU
Prof. H. Wolter	LMU

- Aktuelle Themen aus der modernen Kernphysik
  - experimentelle Methoden
  - theoretische Methoden
  - aktuelle Forschungsthemen
  - Zukunftsprojekte

**Heute !!**

**Vorbesprechung / Vortragseinteilung heute 17:00  
in Raum 2024**



# Seminarthemen

---

- Suche nach den schwersten Atomkernen
- Produktion radioaktiver Ionenstrahlen
- Coulombanregung mit radioaktiven Ionenstrahlen
- Messung von Kernradien
- Hochpräzise Massenmessungen
- Lebensdauer und g-Faktor Messungen
- Pionische Atome
- Hyperkerne
- In-medium Modifikationen von Hadronen
- Quantenhadrodynamik: relativistische hadronische Feldtheorie
- Chirale Symmetriebrechung und Kernphysik
- Physik von Positronium, Positronium-Ionen



# Sommerprogramme

---

- Sommerschulen an Großforschungseinrichtungen
  - CERN
  - Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI)  
Darmstadt
  - DESY Hamburg

Informationen auf den Webseiten von CERN,  
DESY und GSI



# 1.1.1 Organisatorisches

---

- Die Vorlesung findet Di und Mi um 11:00 c.t. statt
- Die Vorlesung besteht zu  $> 2/3$  aus einem experimentellem Teil und  $< 1/3$  Theorie
- Es gibt 6 Übungsgruppen (Leitung: Thorsten Kröll )
  - Laura Fabietti                      Montag                      13:15-14:45 Uhr                      PH I - 3268
  - Thomas Behrens                      Dienstag                      16:15-17:45 Uhr                      PH II - 274
  - Peter Maierbeck                      Mittwoch                      14:00-15:30 Uhr                      PH I - 2024
  - Florian Nebel                      Mittwoch                      14:15-15:45 Uhr                      PH I - 2074
  - Tassilo Christ                      Donnerstag                      14:00-15:30 Uhr                      PH I - 2024
  - Benjamin Sailer                      Donnerstag                      14:15-15:45 Uhr                      CH - 36306
- Die Übungsaufgaben werden nicht korrigiert, werden aber in den Übungsstunden im Detail besprochen.
- Sprechstunde nach Vereinbarung
- **Webseite** mit Vorlesungsmaterial: **Link von der E12 Home Page**





## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**
- **Wie entstehen die chemischen Elemente?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**
- **Wie entstehen die chemischen Elemente?**
- **Warum brennt die Sonne und wieso so lange?**





## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**
- **Wie entstehen die chemischen Elemente?**
- **Warum brennt die Sonne und wieso so lange?**
- **Warum haben Neutronensterne eine maximale Masse?**



## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**
- **Wie entstehen die chemischen Elemente?**
- **Warum brennt die Sonne und wieso so lange?**
- **Warum haben Neutronensterne eine maximale Masse?**
- **Was ist die Struktur und die Dynamik von Atomkernen?**



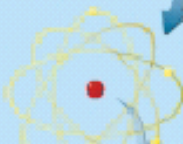
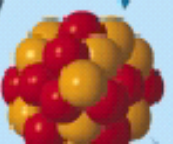




## 1.1.2 Ziele der Vorlesung

---

Am Ende der Vorlesung sollten Sie Antworten für die folgenden exemplarischen Fragen erhalten haben:

- **Was sind die elementare Bausteine der Materie, welche Kräfte halten sie zusammen?**
- **Wieso zerfallen freie Neutronen, sind aber im Atomkern stabil?**
- **Welche Farbe haben die Quarks?**
- **Warum gibt es 8 Gluonen aber nur 1 Photon und 3 W,Z-Bosonen?**
- **Welche Bedeutung haben Symmetrien für die Kräfte der Natur?**
- **Woher wissen wir, wie alt das Universum ist?**
- **Wie entstehen die chemischen Elemente?**
- **Warum brennt die Sonne und wieso so lange?**
- **Warum haben Neutronensterne eine maximale Masse?**
- **Was ist die Struktur und Dynamik von Atomkernen?**
- **Wie funktionieren Kernreaktoren und Atombomben?**

Objekte und ihre Größe	Beobachtungs-instrument	typische Energie
 <p> <math>\leq 0.01</math> m            Crystal         </p>	Lichtmikroskop	1 eV
 <p> <math>1/10,000,000</math>  <math>10^{-9}</math> m            Molecule         </p>		
 <p> <math>1/10</math>  <math>10^{-10}</math> m            Atom         </p>	Elektronenmikroskop	10 keV
 <p> <math>1/10,000</math>  <math>10^{-14}</math> m            Atomic nucleus         </p>	Streuexperimente niederenergetisch	100 MeV
 <p> <math>1/10</math>  <math>10^{-15}</math> m            Proton         </p>		
 <p> <math>1/1,000</math>  <math>&lt; 10^{-18}</math> m            Electron,            Quark         </p>	Streuexperimente hochenergetisch	100 GeV



# 1.1.3 Gliederung der Vorlesung Kern- und Teilchenphysik

---

- Kernphysik
- Elektromagnetische Wechselwirkung
- Starke Wechselwirkung und das Quarkmodell
- Schwache Wechselwirkung



## 1.1.3 Gliederung WS 2003 / 2004

- Einführung Kernphysik
- Massenmessungen & Bindungsenergien
- Stabilität von Kernen
- Teilchenbeschleuniger
- Wechselwirkung von Strahlung mit Materie
- Detektoren
- Streuung von Elektronen an Kernen
- Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung
- Einteilchenbewegung im Kern

- Kernmomente
- Angeregte Kernzustände
- Elektromagnetische Übergänge
- Kernreaktionen
- Kernspektroskopie
- Energiegewinnung
- Nukleare Astrophysik
- Elektromagnetische Wechselwirkung QED
- Streuung bei höheren Energien
- Partonenmodell



## 1.1.4 Literatur

---

- Povh, Rith, Scholz, Zetsche: Teilchen und Kerne (Springer 1999)
- Mayer-Kuckuk: Kernphysik (Teubner 1984)
- Krane: **Introductory Nuclear Physics (Wiley & Sons 1987)**
- Frauenfelder, Henley: Subatomic physics (Prentice Hall 1999)
- Segre: Nuclei and particles (Benjamin 1965)
- Ring & Schuck: The Nuclear Many Body Problem (Springer 1980)
- Perkins: Introduction to high energy physics (Addison Wesley 1986)
- Halzen, Martin: **Quarks and leptons (Wiley & Sons 1984)**



# Kern- und Teilchenphysik

---

## 1. Einführung

### 1.1 Vorbemerkungen

### 1.2 Einführende Bemerkungen

#### 1.2.1 Historische Entwicklung



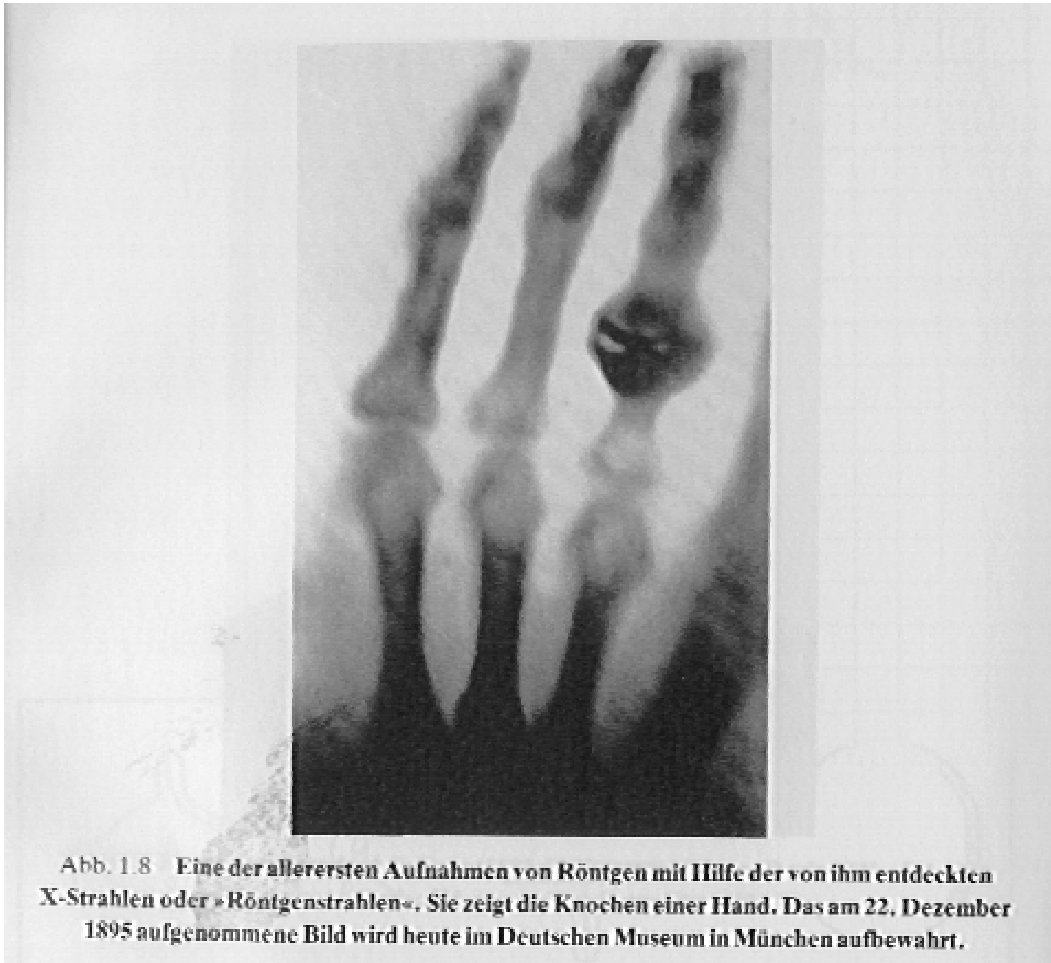


# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

---

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)

# Entdeckung der „X-Strahlung“



*Wilhelm Röntgen 1895*



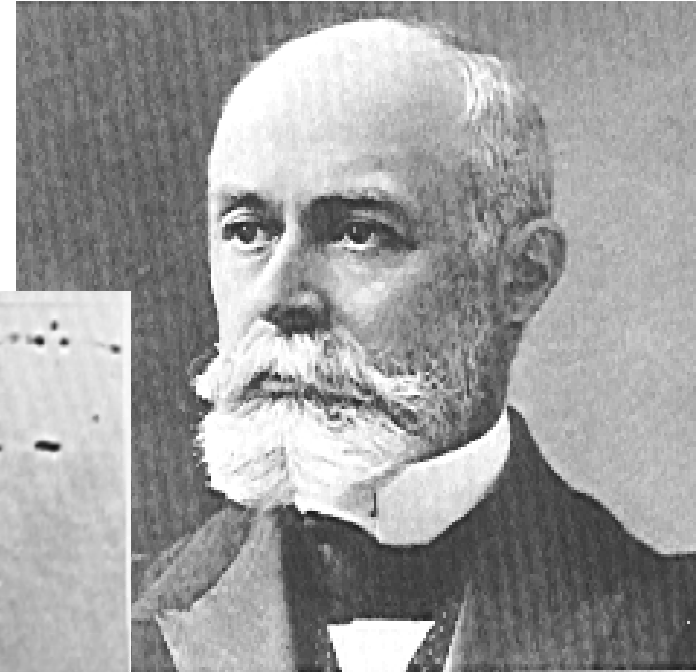
# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

---

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)
- **Entdeckung der Radioaktivität (1896 Becquerel)**

# Entdeckung der Radioaktivität

*Henry Becquerel 1896*



16 - Mars 96. - Sulfate Double d'uranyle et de Potasse.  
Papier noir - Courbe de la courbe lumineuse -  
Exposé au soleil le 27. et en la chambre obscure le 26. -  
Vidées le 15 Mars.

Schwärzung  
photographischer Platten,  
die unter Uransalzen in  
einer Schublade gelegen  
hatten.



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

---

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)
- Entdeckung der Radioaktivität (1896 Becquerel)
- **Entdeckung des Elektrons (1897 Thomson)**

# Entdeckung des Elektronen

*Joseph John Thomson 1897*

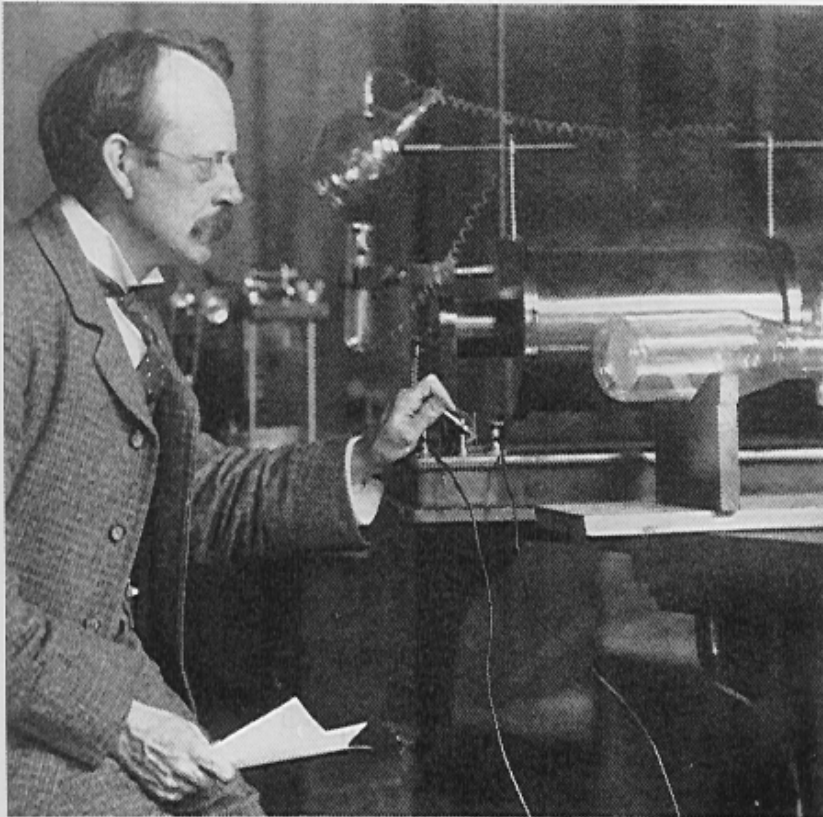


Abb. 1.5 Joseph John Thomson (1856–1940), der für seine Untersuchungen des Elektrons und der Isotope berühmte englische Physiker. Er leitete als dritter Direktor das Cavendish-Laboratorium. Ein Foto im Maxwell-Hörsaal des Laboratoriums zeigt ihn bei der Betrachtung einer Kathodenstrahlröhre. Allem Anschein nach war Thomson etwas ungeschickt, aber er verstand die Möglichkeiten einer Apparatur sehr genau. (Cavendish-Laboratorium, Universität Cambridge)

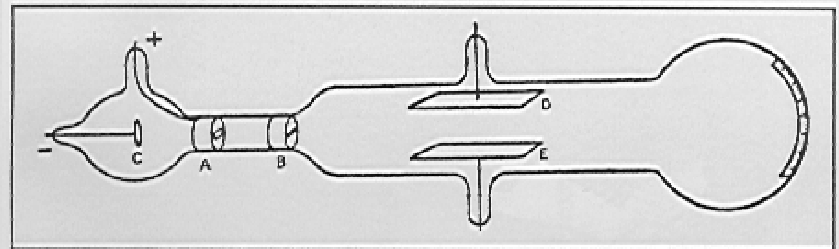
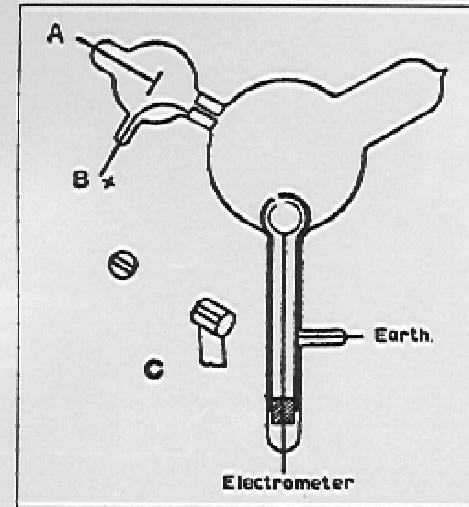
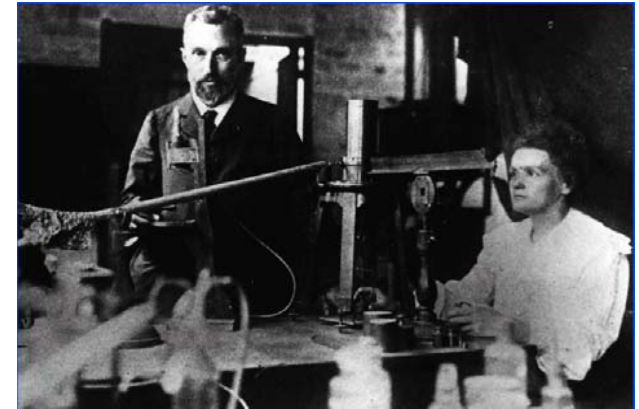


Abb. 1.6 (a) Darstellung einer von Thomsons Entladungsröhren aus dem *Philosophical Magazine* (44, 293 [1897]). Die von der Kathode A erzeugten Elektronen können durch einen außen angebrachten Magneten abgelenkt und in einen Kollektor (Faraday-Käfig) geleitet werden, der an ein Elektrometer angeschlossen ist, das die Gesamtladung misst. (b) Eine andere von Thomsons Entladungsröhren aus demselben Journal. Das von der Kathode C emittierte Strahlenbündel wird in A und B gebündelt und passiert zwischen D und E ein elektrisches Feld. Senkrecht dazu wird durch außerhalb der Röhre angebrachte Spulen ein Magnetfeld erzeugt.

# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)
- Entdeckung der Radioaktivität (1896 Becquerel)
- Entdeckung des Elektrons (1897 Thomson)
- Separation von Radium aus Erzen (1897 M. & P. Curie)
- Gesetze des radioaktiven Zerfalls (1897 Rutherford, Soddy)
- **Identifikation der verschiedenen Strahlungsarten Alpha-, Beta- und Gammastrahlung (1897 Rutherford)**



# Entdeckung der $\alpha, \beta, \gamma$ Strahlung

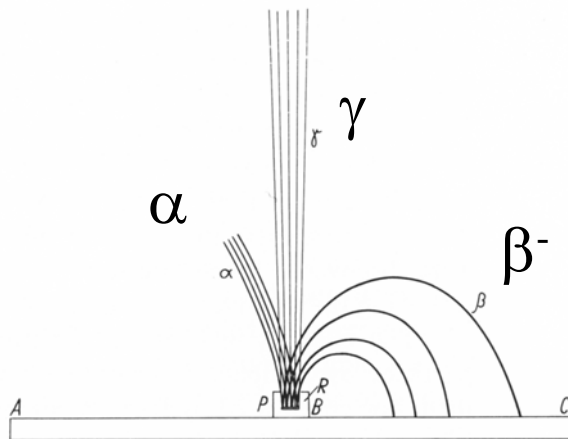
*Ernest Rutherford 1897*



Paper Aluminium Lead

$\alpha$   
 $\beta$   
 $\gamma$

Three kinds of radiation. Alpha ( $\alpha$ ) particles are stopped by a thin sheet of paper but beta and gamma rays pass through. Beta ( $\beta$ ) rays are stopped by a thin aluminium foil, but gamma ( $\gamma$ ) rays easily pass. Gamma rays can pass through several centimetres of lead.



(Aus Segre)

**NUCLEUS** A Trip Into The Heart of Matter





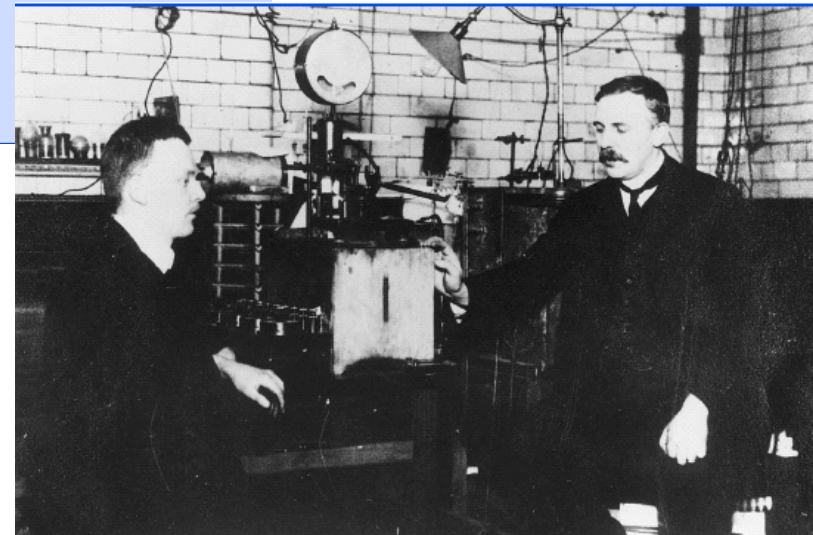
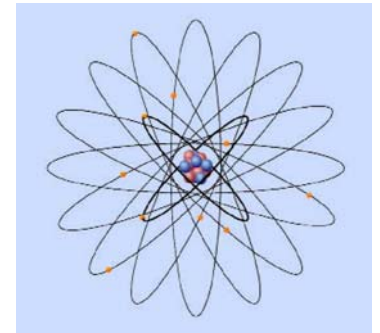
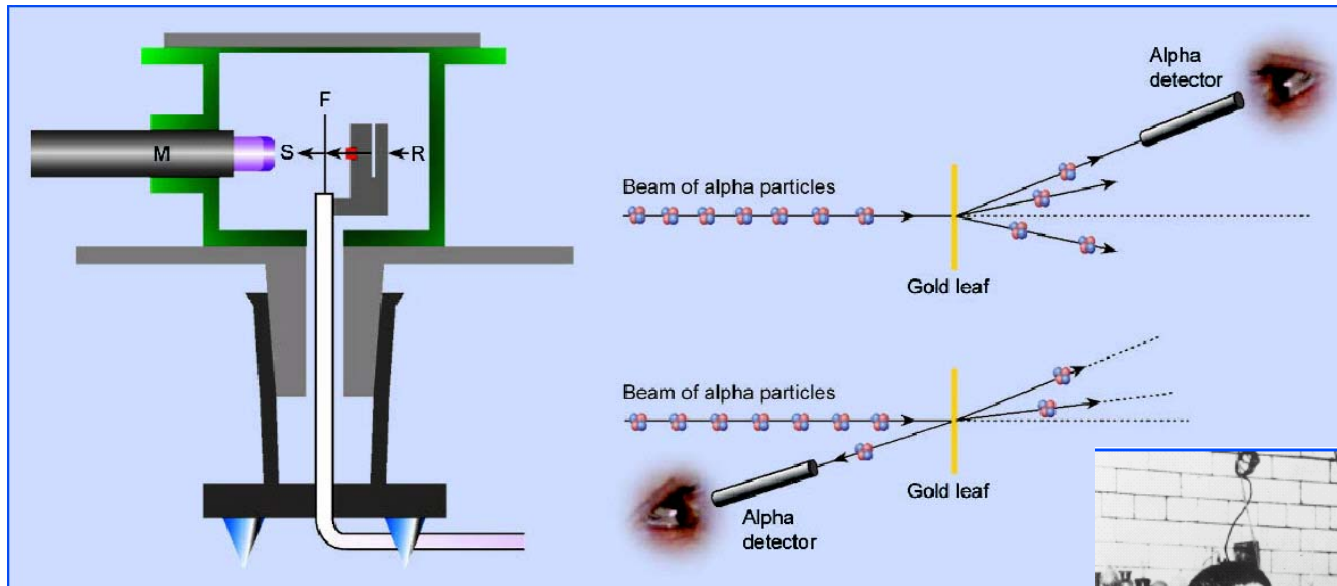
# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

---

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)
- Entdeckung der Radioaktivität (1896 Becquerel)
- Entdeckung des Elektrons (1897 Thomson)
- Separation von Radium aus Erzen (1897 Curie)
- Gesetze des radioaktiven Zerfalls (1897 Rutherford, Soddy)
- Identifikation der verschiedenen Strahlungsarten Alpha-, Beta- und Gammastrahlung (1897 Rutherford)
- **Alpha-Streuexperimente zeigen Existenz des Atomkerns (1911 Rutherford, Geiger, Marsden)**

# Entdeckung des Atomkerns

*Rutherford, Geiger, Marsden 1908 - 1913*



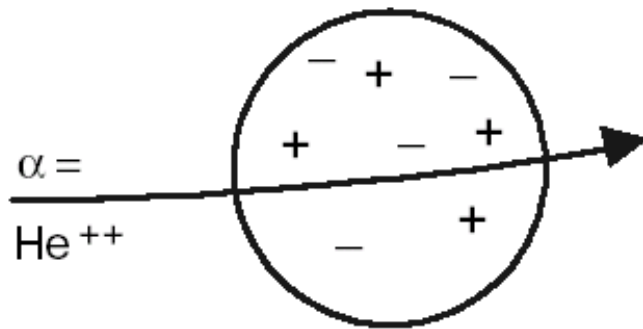
aus:

**NUCLEUS** A Trip Into The Heart of Matter

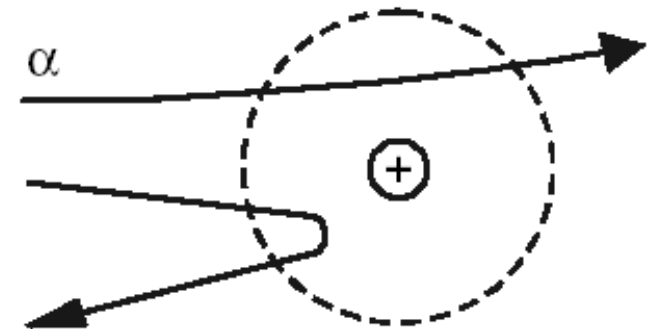
Hans Geiger, 1882–1947, left, with Ernest Rutherford, 1871–1937, in Rutherford's laboratory in Manchester. This picture was taken at about the time of the discovery of the nucleus. (Science Museum/Science and Society Picture Library.)

# Entdeckung des Atomkerns

*Rutherford, Geiger, Mardsen 1908 - 1913*



Thomson'sches Atommodell: Positive Ladungen sind gleichmäßig im Atom verteilt ( $D \approx 10^{-8}$  cm)

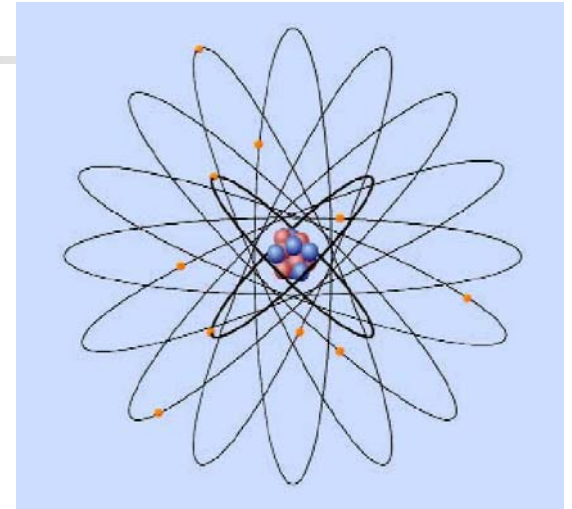


Rutherford'sches Modell: Positive Ladung ist im Kern konzentriert ( $D \approx 10^{-12}$  cm)

(aus Th. Elze et al., Kernphysik, Uni. Frankfurt)

# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (1/4)

- Entdeckung der Röntgenstrahlung (1895 Röntgen)
- Entdeckung der Radioaktivität (1896 Becquerel)
- Entdeckung des Elektrons (1897 Thomson)
- Separation von Radium aus Erzen (1897 Curie)
- Gesetze des radioaktiven Zerfalls (1897 Rutherford, Soddy)
- Identifikation der verschiedenen Strahlungsarten Alpha-, Beta- und Gammastrahlung (1897 Rutherford)
- Alpha-Streuexperimente zeigen Existenz des Atomkerns (1911 Rutherford, Geiger, Marsden)
- Entwicklung der Blaskammer (1912 Wilson)
- Systematik der Röntgenspektren, Begriff der Ordnungszahl, Basis für Periodensystem (1913 Mosley)
- **Bohrsches Atommodell, Erklärung des Wasserstoffspektrums (1913 Bohr)**
- Erste Kernreaktionen / Transmutation (1919 Rutherford)





# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (2/4)

---

- Entwicklung des ersten Massenspektrographen (1919 Aston)
- Entwicklung der Quantenmechanik zur Beschreibung der Atomstruktur (ab 1925 u.a. De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born)
- **Neutrinohypothese (1930 Pauli)**



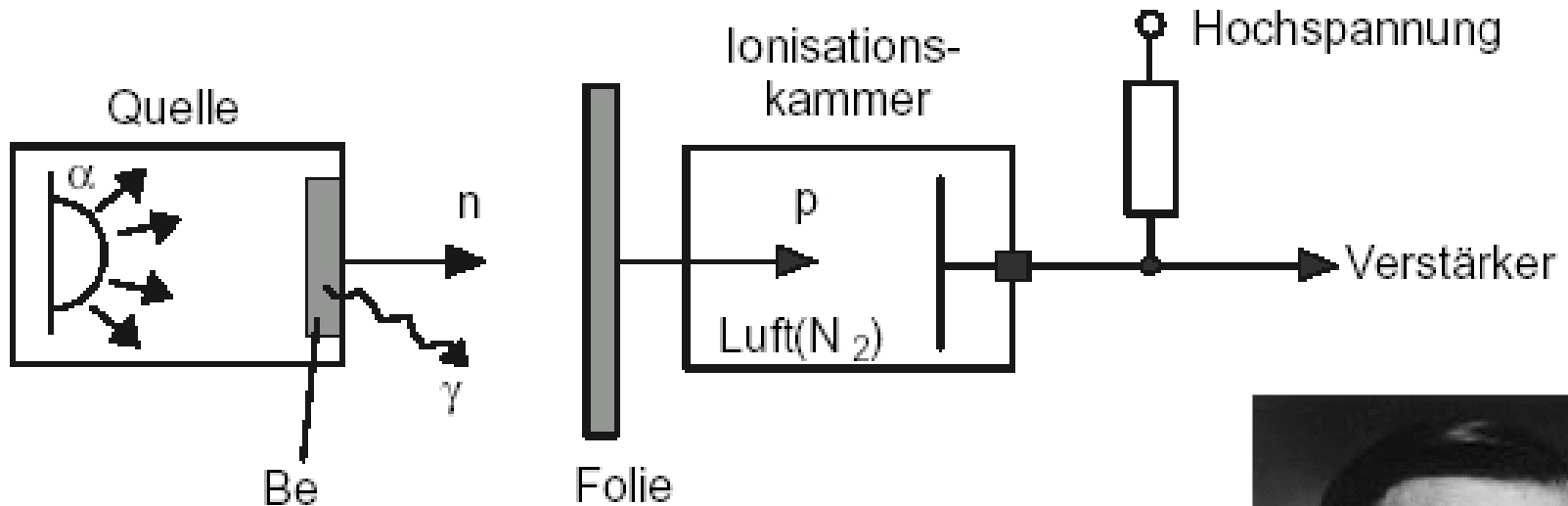
# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (2/4)

---

- Entwicklung des ersten Massenspektrographen (1919 Aston)
- Entwicklung der Quantenmechanik zur Beschreibung der Atomstruktur (ab 1925 u.a. De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born)
- Neutrinohypothese (1930 Pauli)
- Erste Teilchenbeschleuniger (1930-32 Van de Graff, Sloan, Cockroft, Walton, Lawrence)
- **Entdeckung des Neutrons (1932 Chadwick)**

# Entdeckung des Neutrons

(aus Th. Elze et al., Kernphysik, Uni. Frankfurt)



*James Chadwick 1932*





# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (2/4)

---

- Entwicklung des ersten Massenspektrographen (1919 Aston)
- Entwicklung der Quantenmechanik zur Beschreibung der Atomstruktur (ab 1925 u.a. De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born)
- Neutrinohypothese (1930 Pauli)
- Erste Teilchenbeschleuniger (1930-32 Van de Graff, Sloan, Cockroft, Walton, Lawrence)
- Entdeckung des Neutrons (1932 Chadwick)
- Entdeckung des Positrons (1932 Anderson)
- Theorie des Betazerfalls (1934 Fermi)
- Beschreibung der Kernkräfte durch Mesonenaustausch (1935 Yukawa)
- Entdeckung des Myons (1937 Anderson, Neddermeyer)
- **Entdeckung der Kernspaltung (1938 Hahn, Straßmann)**





# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (3/4)

---

- Theorie der thermonuklearen Reaktionen in Sternen (1938 Bethe)
- Erklärung der Spaltung und Tröpfchenmodell (1939 Meitner, Frisch und Bohr, Wheeler)
- Produktion der ersten Transurane (1940 Seaborg)
- **Erste kontrollierte Kettenreaktion (1942 Fermi)**

# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (3/4)

- Theorie der thermonuklearen Reaktionen in Sternen (1938 Bethe)
- Erklärung der Spaltung und Tröpfchenmodell (1939 Meitner, Frisch und Bohr, Wheeler)
- Produktion der ersten Transurane (1940 Seaborg)
- **Erste kontrollierte Kettenreaktion (1942 Fermi)**
- **Entwicklung der Atombombe (1945 Oppenheimer etc.)**
- **Entwicklung der Wasserstoffbombe (1949 Teller)**





# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (3/4)

---

- Theorie der thermonuklearen Reaktionen in Sternen (1938 Bethe)
- Erklärung der Spaltung und Tröpfchenmodell (1939 Meitner, Frisch und Bohr, Wheeler)
- Produktion der ersten Transurane (1940 Seaborg)
- Erste kontrollierte Kettenreaktion (1942 Fermi)
- Entwicklung der Atombombe (1945 Oppenheimer etc.)
- Entwicklung der Wasserstoffbombe (1949 Teller)
- Entdeckung des Pi-Mesons (1947 Powell)
- **Schalenmodell der Kernstruktur (1949 Mayer, Jensen, Haxel, Suess)**
- **Kollektives Modell für Kerne (1953 A. Bohr, Mottelson, Rainwater)**



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (3/4)

---

- Theorie der thermonuklearen Reaktionen in Sternen (1938 Bethe)
- Erklärung der Spaltung und Tröpfchenmodell (1939 Meitner, Frisch und Bohr, Wheeler)
- Produktion der ersten Transurane (1940 Seaborg)
- Erste kontrollierte Kettenreaktion (1942 Fermi)
- Entwicklung der Atombombe (1945 Oppenheimer etc.)
- Entwicklung der Wasserstoffbombe (1949 Teller)
- Entdeckung des Pi-Mesons (1947 Powell)
- Schalenmodell der Kernstruktur (1949 Mayer, Jensen, Haxel, Suess)
- Kollektives Modell für Kerne (1953 A. Bohr, Mottelson, Rainwater)
- **Erster Nachweis von Teilchen mit Seltsamkeit (1953 Brookhaven)**
- **Entdeckung des Antiprotons (1955 Chaimberlain, Segre)**
- **Experimenteller Nachweis des Neutrinos (1956 Reines, Cowan)**



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (4/4)

---

- Nachweis der Paritätsverletzung im Beta-Zerfall (1956 Lee, Yang, Wu)
- Entdeckung der rückstoßfreien Gammaemission (1958 Mößbauer)
- **Supraleitung in Atomkernen (1958 Bohr, Mottelson, Pine)**
- **Quarkmodell der Hadronen (1964 Gell-Mann, Zweig)**



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (4/4)

---

- Nachweis der Paritätsverletzung im Beta-Zerfall (1956 Lee, Yang, Wu)
- Entdeckung der rückstoßfreien Gammaemission (1958 Mößbauer)
- Supraleitung in Atomkernen (1958 Bohr, Mottelson, Pine)
- Quarkmodell der Hadronen (1964 Gell-Mann, Zweig)
- Elektroschwache Vereinigung (1967 Weinberg, Salam)
- **Nachweis von Neutronensternen / Pulsaren (1967 Hewish)**



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (4/4)

---

- Nachweis der Paritätsverletzung im Beta-Zerfall (1956 Lee, Yang, Wu)
- Entdeckung der rückstoßfreien Gammaemission (1958 Mößbauer)
- Supraleitung in Atomkernen (1958 Bohr, Mottelson, Pine)
- Quarkmodell der Hadronen (1964 Gell-Mann, Zweig)
- Elektroschwache Vereinigung (1967 Weinberg, Salam)
- Nachweis von Neutronensternen / Pulsaren (1967 Hewish)
- **Nachweis des  $J/\psi$  Mesons und des Charm Quarks (1974 Richter, Ting)**
- **Entdeckung des Tau-Leptons (1975 Perl)**
- **Entdeckung des Bottom Quarks (1977 Ledermann)**
- **Entdeckung der W und Z Bosonen (1983 Rubbia)**
- **Entdeckung des Top Quarks (1995 Fermi-Lab)**



# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (4/4)

---

- Nachweis der Paritätsverletzung im Beta-Zerfall (1956 Lee, Yang, Wu)
- Entdeckung der rückstoßfreien Gammaemission (1958 Mößbauer)
- Supraleitung in Atomkernen (1958 Bohr, Mottelson, Pine)
- Quarkmodell der Hadronen (1964 Gell-Mann, Zweig)
- Elektroschwache Vereinigung (1967 Weinberg, Salam)
- Nachweis von Neutronensternen / Pulsaren (1967 Hewish)
- Nachweis des J/Y Mesons und des Charm Quarks (1974 Richter, Ting)
- Entdeckung des Tau-Leptons (1975 Perl)
- Entdeckung des Bottom Quarks (1977 Ledermann)
- Entdeckung der W und Z Bosonen (1983 Rubbia)
- Entdeckung des Top Quarks (1995 Fermi-Lab)
- **Produktion der superschweren Elemente Z=107-112 (1984-1996 Armbruster, Oganessian)**





# 1.2.1 Geschichte der Kern- und Teilchenphysik (4/4)

---

- Nachweis der Paritätsverletzung im Beta-Zerfall (1956 Lee, Yang, Wu)
- Entdeckung der rückstoßfreien Gammaemission (1958 Mößbauer)
- Supraleitung in Atomkernen (1958 Bohr, Mottelson, Pine)
- Quarkmodell der Hadronen (1964 Gell-Mann, Zweig)
- Elektroschwache Vereinigung (1967 Weinberg, Salam)
- Nachweis von Neutronensternen / Pulsaren (1967 Hewish)
- Nachweis des J/Y Mesons und des Charm Quarks (1974 Richter, Ting)
- Entdeckung des Tau-Leptons (1975 Perl)
- Entdeckung des Bottom Quarks (1977 Ledermann)
- Entdeckung der W und Z Bosonen (1983 Rubbia)
- Entdeckung des Top Quarks (1995 Fermi-Lab)
- Produktion der superschweren Elemente Z=107-112 (1984-1996 Armbruster, Oganessian)
- **Nachweis von Neutrino-Oszillationen (1998 Super-Kamiokande, 2001 SNO, 2003 KAMLAND)**

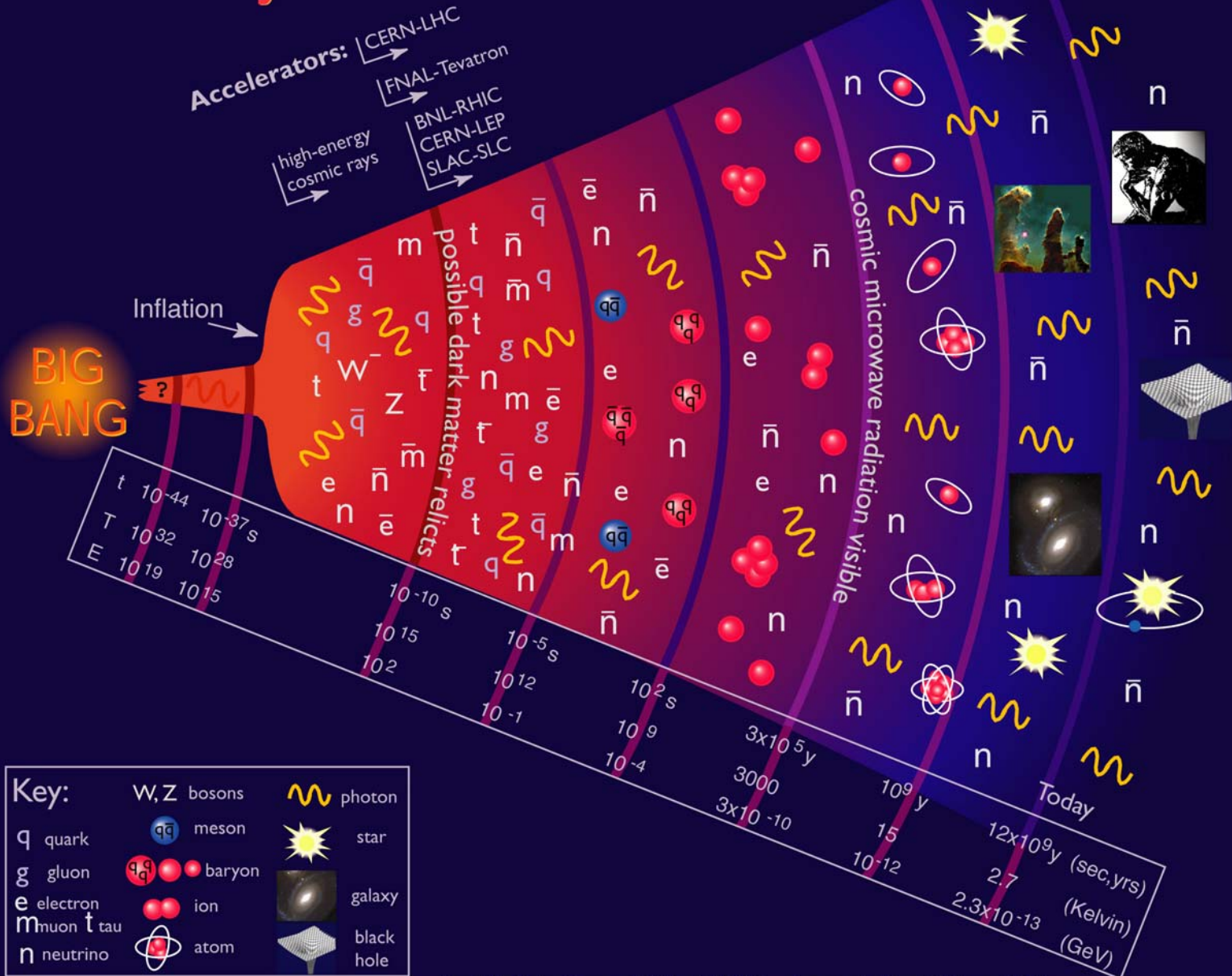


# Geschichte des Universums

---

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| •Urknall (BigBang) –  | Erzeugung der Elementarteilchen |
| •Ausfrieren der Quarks als Hadronen (Baryonen, Mesonen)       | (1 sec)                         |
| •Bildung leichter Kerne (d, He, Li) ohne gebundene Elektronen | (3 min)                         |
| •Bildung von Atomen   | ( $3 \cdot 10^5$ Jahre)         |
| •Bildung von Sternen (nukleare Elementsythese in Sternen)     | ( $10^9$ Jahre)                 |
| •Entstehung unseres Sonnensystems                             | ( $10 \cdot 10^9$ Jahre)        |
| •Evolution bis zum Menschen                                   | ( $15 \cdot 10^9$ Jahre)        |

# History of the Universe





# Kern- und Teilchenphysik

---

## 1. Einführung

### 1.1 Vorbemerkungen

### 1.2 Einführende Bemerkungen

#### 1.2.2 Gegenstand der Kern- und Teilchenphysik

# Die Fermionischen Bausteine

## FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
<b>e</b> electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
<b>u</b> up	0.003	2/3
<b>d</b> down	0.006	-1/3
<b>c</b> charm	1.3	2/3
<b>s</b> strange	0.1	-1/3
<b>t</b> top	175	2/3
<b>b</b> bottom	4.3	-1/3

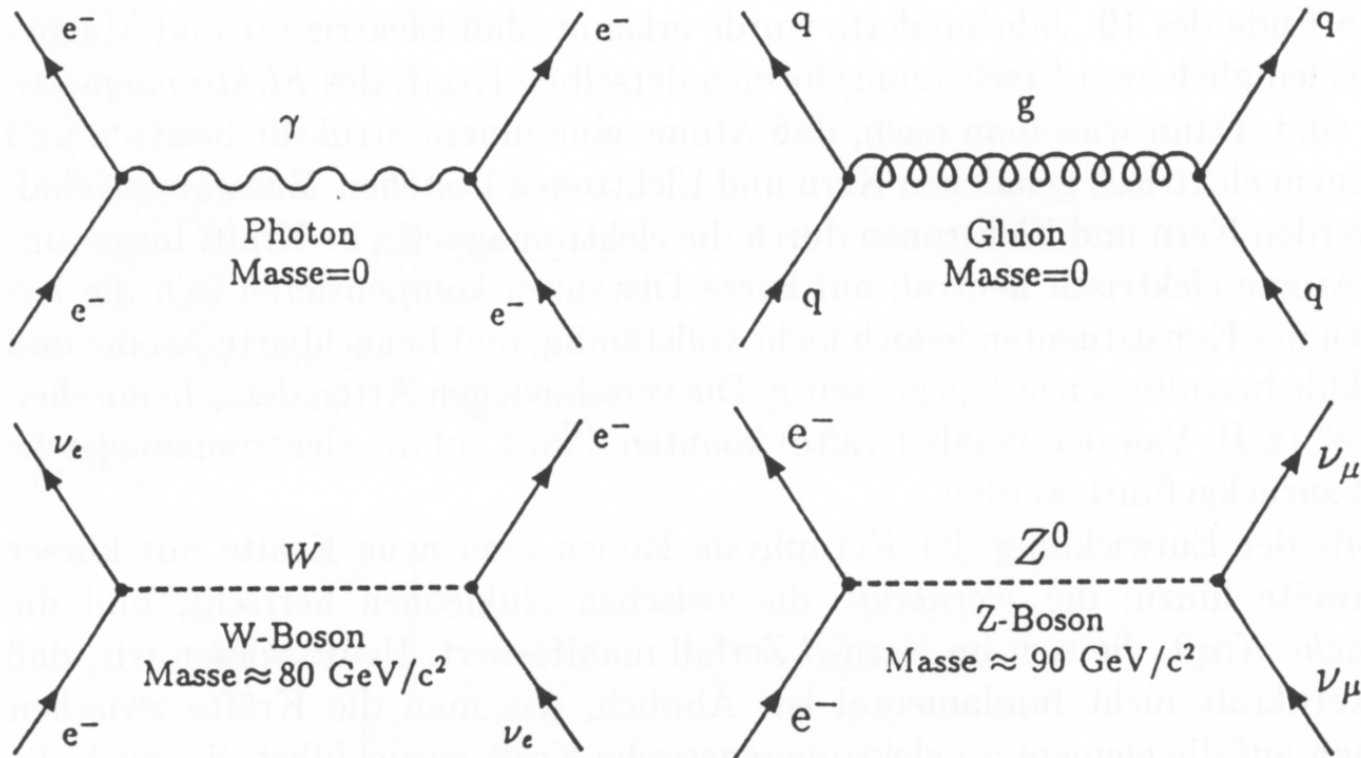


# Die Bosonischen Bausteine

Die Träger der Wechselwirkungen

<b>BOSONS</b>			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0	<b>g</b> gluon	0	0
$W^-$	80.4	-1			
$W^+$	80.4	+1			
$Z^0$	91.187	0			

# Wechselwirkung durch Teilchenaustausch



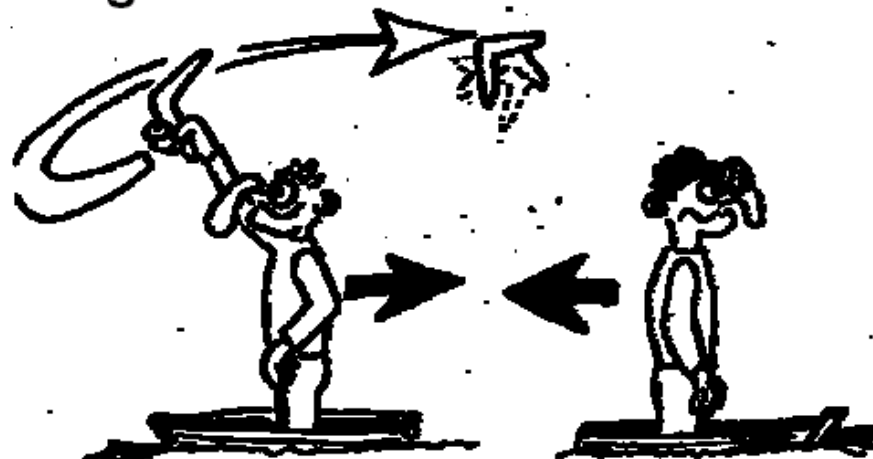
(aus Povh et al.)

# Wechselwirkung durch Teilchenaustausch

- Abstoßung



- Anziehung







# Die Hadronen 1

## Baryonen (eine Auswahl)

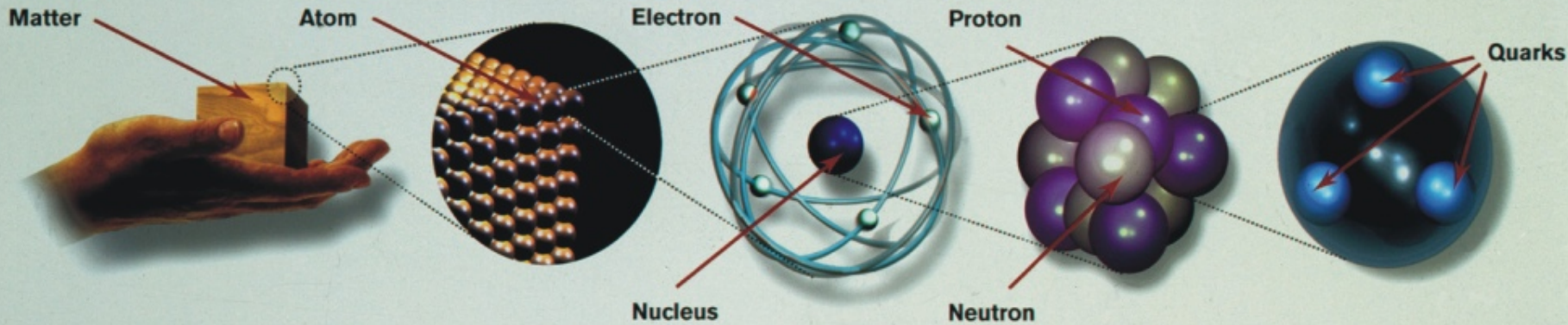
<b>Baryons <math>qqq</math> and Antibaryons <math>\bar{q}\bar{q}\bar{q}</math></b>					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass $\text{GeV}/c^2$	Spin
<b>p</b>	proton	<b>uud</b>	1	0.938	1/2
<b><math>\bar{p}</math></b>	anti-proton	<b><math>\bar{u}\bar{u}\bar{d}</math></b>	-1	0.938	1/2
<b>n</b>	neutron	<b>udd</b>	0	0.940	1/2
<b><math>\Lambda</math></b>	lambda	<b>uds</b>	0	1.116	1/2
<b><math>\Omega^-</math></b>	omega	<b>sss</b>	-1	1.672	3/2



# Die Hadronen 2







## Mesonen (eine Auswahl)







Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass $\text{GeV}/c^2$	Spin
$\pi^+$	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
$B^0$	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0



**Matter particles**  
All ordinary particles belong to this group

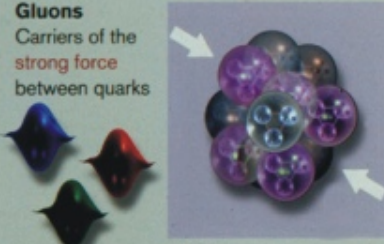
These particles existed just after the Big Bang. Now they are found only in cosmic rays and accelerators

LEPTONS				
FIRST FAMILY	<b>Electron</b> Responsible for electricity and chemical reactions; it has a charge of -1		<b>Electron neutrino</b> Particle with no electric charge, and possibly no mass; billions fly through your body every second	
SECOND FAMILY	<b>Muon</b> A heavier relative of the electron; it lives for two-millionths of a second		<b>Muon neutrino</b> Created along with muons when some particles decay	
THIRD FAMILY	<b>Tau</b> Heavier still; it is extremely unstable. It was discovered in 1975		<b>Tau neutrino</b> not yet discovered but believed to exist	

QUARKS			
<b>Up</b> Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one		<b>Down</b> Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two	
<b>Charm</b> A heavier relative of the up; found in 1974		<b>Strange</b> A heavier relative of the down; found in 1964	
<b>Top</b> Heavier still		<b>Bottom</b> Heavier still; measuring bottom quarks is an important test of electroweak theory	

**Force particles**  
These particles transmit the four fundamental forces of nature although gravitons have so far not been discovered

**Gluons**  
Carriers of the **strong force** between quarks



Felt by: quarks

The explosive release of nuclear energy is the result of the **strong force**


**Photons**  
Particles that make up light; they carry the **electromagnetic force**



Felt by: quarks and charged leptons

Electricity, magnetism and chemistry are all the results of **electro-magnetic force**

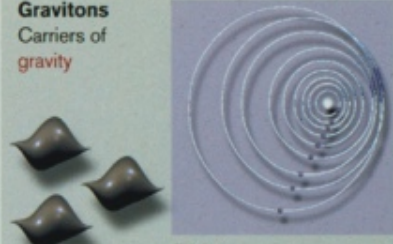
**Intermediate vector bosons**  
Carriers of the **weak force**



Felt by: quarks and leptons

Some forms of radio-activity are the result of the **weak force**

**Gravitons**  
Carriers of **gravity**



Felt by: all particles with mass

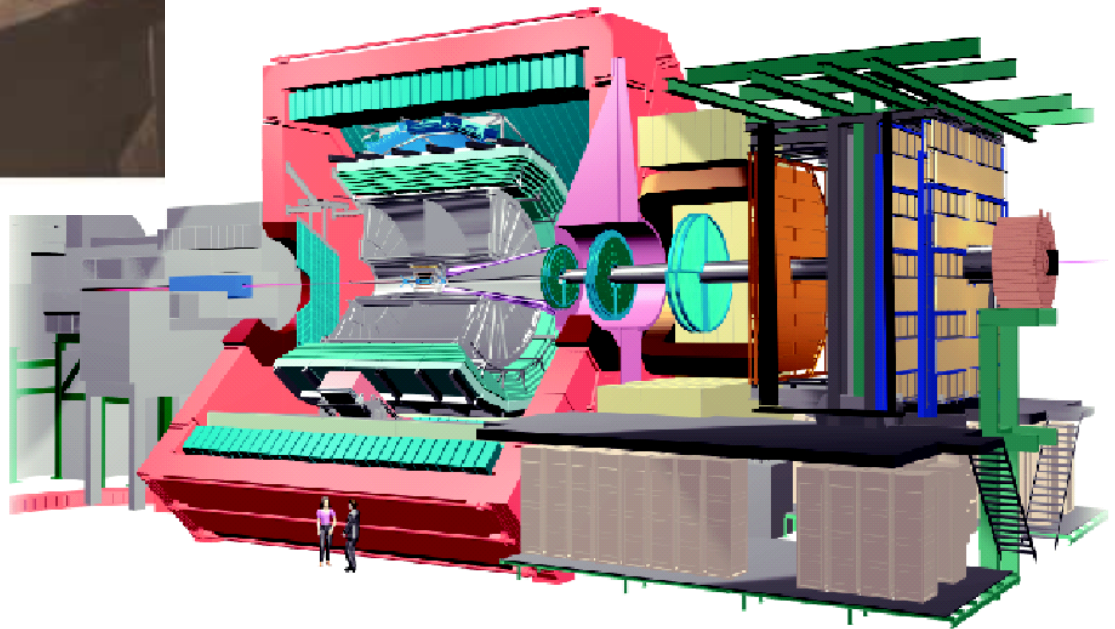
All the weight we experience is the result of the **gravitational force**

# Instrumentelle Entwicklungen



Otto Hahn's Arbeitstisch

ALICE am LHC des CERN





CERN





# ILL Grenoble



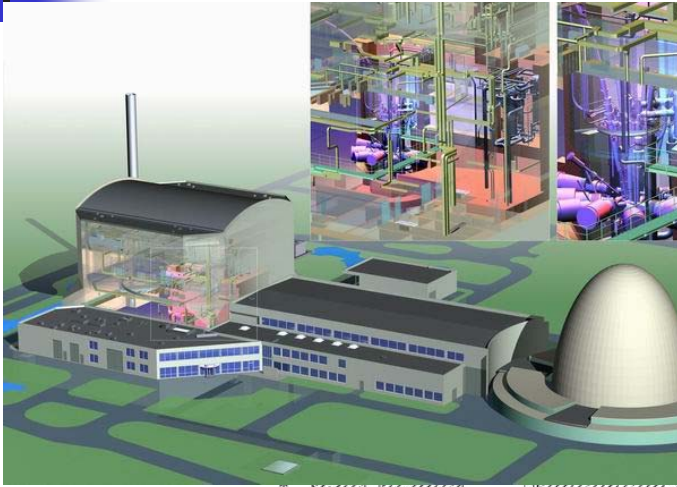


# GSI Darmstadt

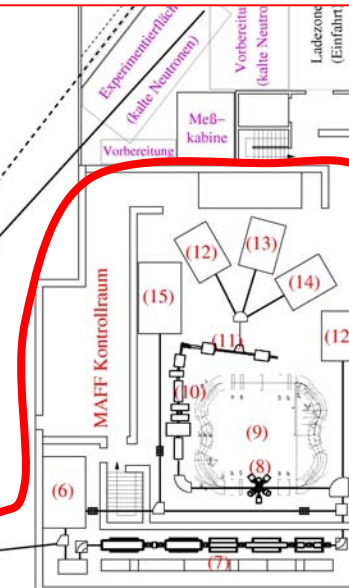
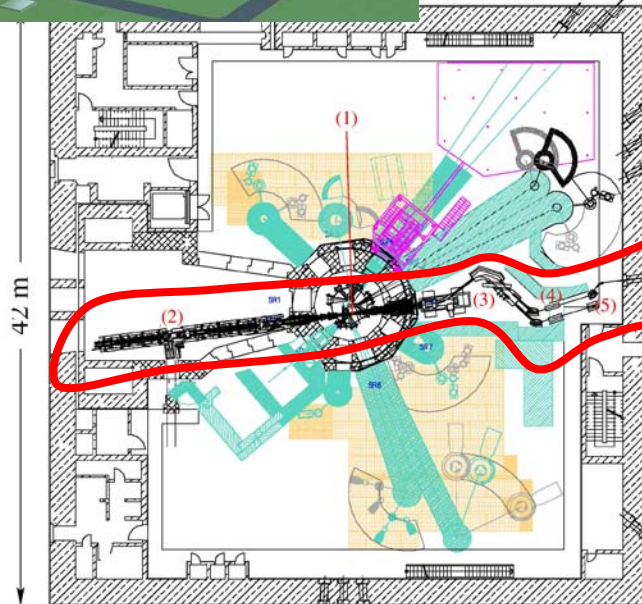


Gesellschaft für Schwerionenforschung

# Das MAFF Projekt am FRM-II



- MAFF: Spaltfragmentbeschleuniger
- Studium exotischer Kerne
  - Produktion superschwerer Elemente



MAFF







# Kern- und Teilchenphysik

---

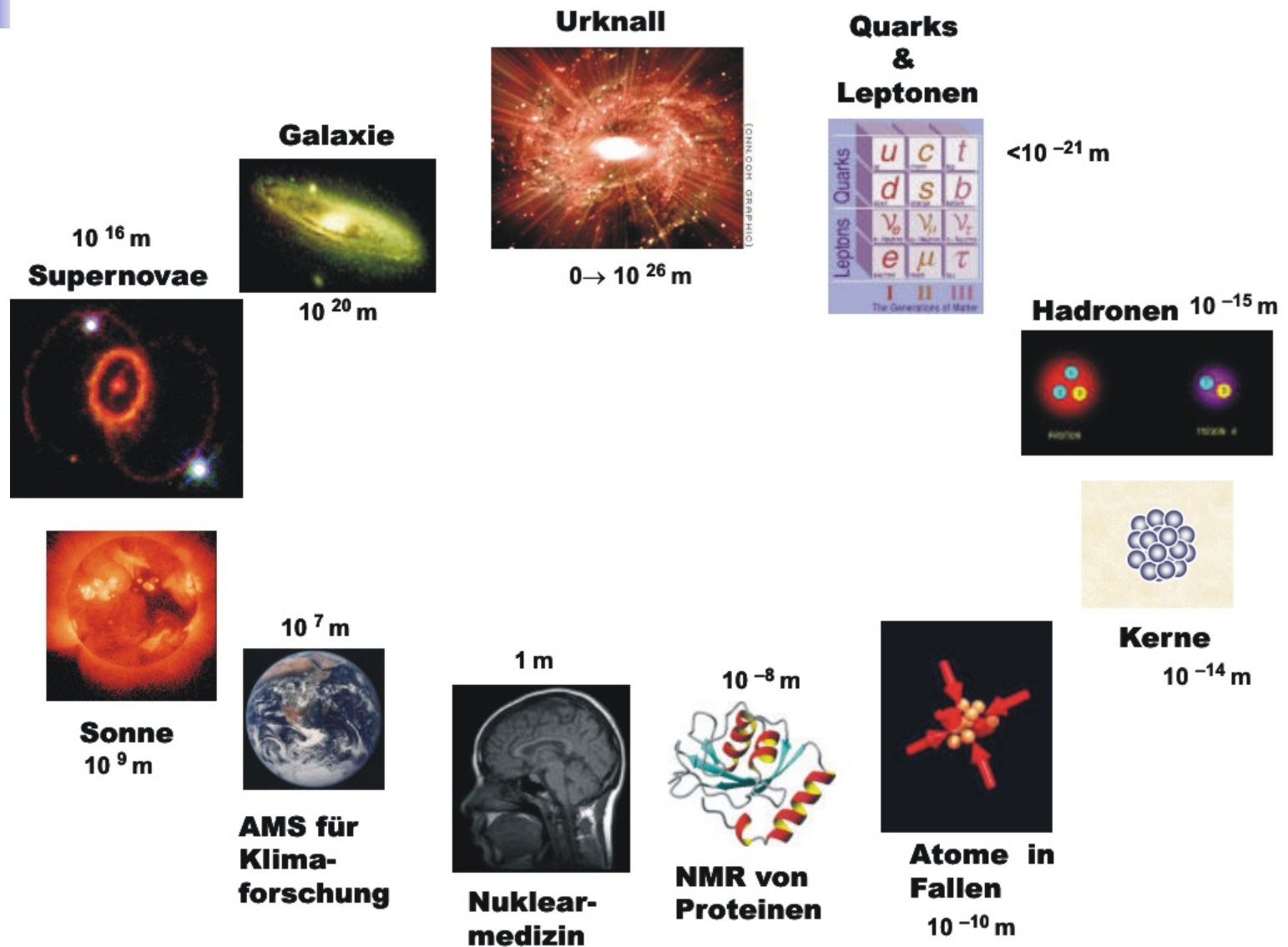
## 1. Einführung

### 1.1 Vorbemerkungen

### 1.2 Einführende Bemerkungen

#### 1.2.3 Relevanz der Kern- und Teilchenphysik auf allen Skalen

# 1.2.3 Relevanz der Kern- und Teilchenphysik auf allen Skalen





# Kern- und Teilchenphysik

---

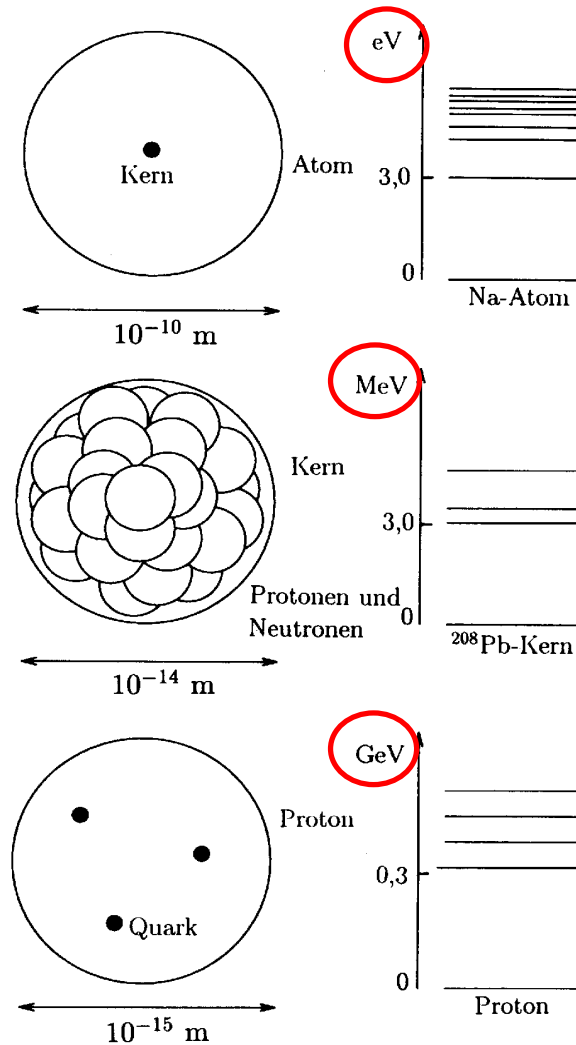
## 1. Einführung

1.1 Vorbemerkungen

1.2 Einführende Bemerkungen

1.3 Einheiten, Konstanten, Relationen

# Größenordnungen



aus Povh et al.,  
„Teilchen und Kerne“



# Kern- und Teilchenphysik

---

## 1. Einführung

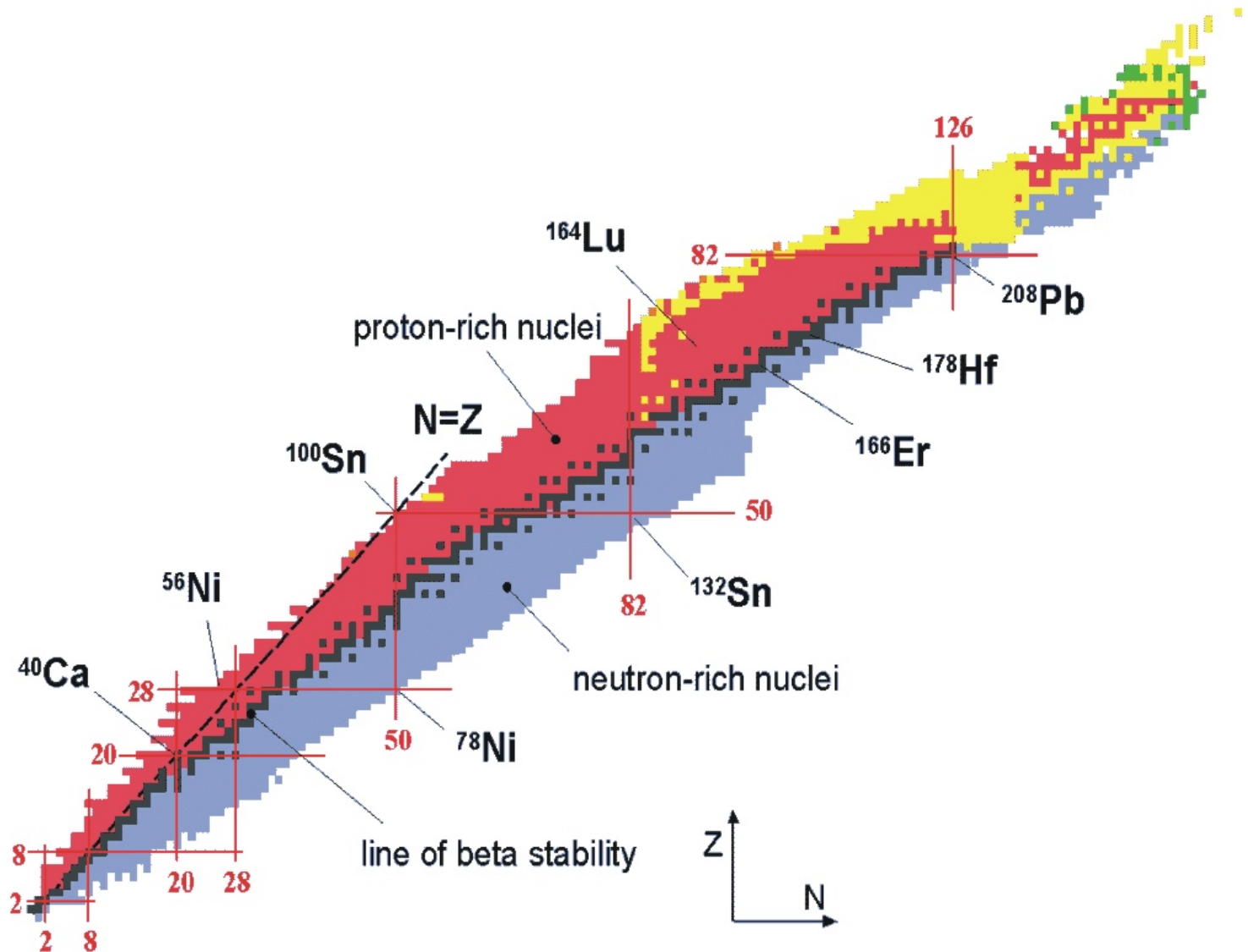
1.1 Vorbemerkungen

1.2 Einführende Bemerkungen

1.3 Einheiten, Konstanten, Relationen

1.4 Nomenklatur

# Die Nuklidkarte



# Nomenklatur

Z  
↑

Po 206 8,8 d ε; α 5,2933 γ 1032, 511; 286; 80... e <sup>-</sup> ; g	Po 207 2,8 s 5,84 h ε, β <sup>+</sup> ... α 5,116 γ 992; 268; 743; 301 912...; g	Po 208 2,898 a α 5,1152... ε γ (292; 571...) g	Po 209 102 a α 4,881... ε γ (895; 261; 263...)	Po 210 138,38 d α 5,30438... γ (803) σ < 0,0005 + < 0,030	Po 211 25,2 s 0,516 s α 7,275; 8,883... γ 570; 1064... ly	Po 212 45,1 s 17,1 ns 0,3 μs α 11,65...; ly 728; γ 2615; 406; 583 223... ly α 10,22 α 8,785	Po 213 4,2 μs α 8,376... γ (779)	
Bi 205 15 d ε β <sup>+</sup> ... γ 1764; 703; 988...	Bi 206 6,24 d ε β <sup>+</sup> ... γ 803; 881; 516; 1719; 537...	Bi 207 31,55 a ε β <sup>+</sup> ... γ 570; 1064; 1770...	Bi 208 3,68 · 10 <sup>5</sup> a ε γ 2615	Bi 209 100 ε σ 0,011 + 0,023	Bi 210 3,0 · 10 <sup>6</sup> a α 4,946; 4,908... γ 266; 304... σ 0,054	Bi 211 5,013 d β <sup>-</sup> 1,2 α 4,649; 4,686 γ (305; 266)	Bi 211 2,17 m α 6,6229; 6,2788 β <sup>-</sup> ... γ 351... α → g; β <sup>-</sup> → g	Bi 212 9m 25m 60,60 m α 6,34; β <sup>-</sup> 2,3... 6,30 α 6,051; β <sup>-</sup> ; γ 6,090... Ba 10,22; γ 727... β <sup>-</sup> 10,11... Ba 10,55... m <sub>2</sub> m <sub>1</sub> g
Pb 204 67,2 m ly 899; 912; 375... ε σ 0,68	Pb 205 1,5 · 10 <sup>7</sup> a ε no γ σ ~ 5	Pb 206 24,1 ε σ 0,030	Pb 207 22,1 ε σ 0,70	Pb 208 52,4 ε σ 0,00049	Pb 209 3,253 h β <sup>-</sup> 0,6 no γ	Pb 210 22,3 a β <sup>-</sup> 0,02; 0,06 γ 47; e <sup>-</sup> ; g α 3,72 σ < 0,5	Pb 211 36,1 m β <sup>-</sup> 1,4... γ 405; 832; 427...	
Tl 203 29,524 ε σ 11	Tl 204 3,78 a β <sup>-</sup> 0,8; ε no γ; g σ 22	Tl 205 10,476 ε σ 0,11	Tl 206 3,7 m 4,20 m ly 686; 453; 216; 256; 1021... β <sup>-</sup> 1,5... γ (803...)	Tl 207 1,33 s 4,77 m ly 1000; 351 β <sup>-</sup> 1,4... γ (898...)	Tl 208 3,053 m β <sup>-</sup> 1,8; 2,4... γ 2615; 583; 511; 860; 277...	Tl 209 2,16 m β <sup>-</sup> 1,8... γ 1567; 465; 117...	Tl 210 1,30 m β <sup>-</sup> 1,9; 2,3... γ 800; 298... βn	
Hg 202 29,86 ε σ 5,0	Hg 203 46,59 d β <sup>-</sup> 0,2 γ 279	Hg 204 6,87 ε σ 0,4	Hg 205 5,2 m β <sup>-</sup> 1,5... γ 204...	Hg 206 8,15 m β <sup>-</sup> 1,5... γ 305; 650... g	Hg 207 2,9 m β <sup>-</sup> 1,8... γ 351; 997; 1637... m; g	Hg 208 ~ 42 m β <sup>-</sup> γ 474	Hg 209 35 s β <sup>-</sup> γ 324	

→

N

ISOTOPE

ISOBARE